

研究成果報告書

研 究 題 目		高温超電導線材を用いた交流用大容量撚り線導体の開発	実 施 年 度
			2024-2025 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学・学術研究院 環境生命自然科学学域	
	氏 名	井 上 良 太	印
1. 研究の目的・背景 <u>研究背景</u>：近年、脱炭素社会の実現へ向けて、電気自動車の急速充電が可能な大容量非接触給電システムのニーズが高まっている。しかし、銅コイルを用いた場合、電気抵抗による発熱から送電容量が制限される欠点があった。そこで、申請者は、低損失で大電流通電できる高温超電導（HTS）コイルを用いた非接触給電システムについて検討している。その一方で、HTS コイルには、高周波大電流を通電する必要があるが、市販されている HTS 線材（図 1）では電流容量が不十分である。そのため、HTS 線材を複数本並列化する必要があるものの、これまでに検討されている直流用大容量 HTS 導体は、交流通電時に大きな交流損失が発生する問題があった。 <u>研究目的</u>：そこで申請者は、“銅素線を複数本撚り合わせたリッツ線（図 2）” からアイデアを得て、“絶縁した HTS 線材を複数撚り合わせる交流用 HTS 撚り線導体（図 3）” を提案する。その一方で、提案する交流用 HTS 撚り線導体は、複数本の HTS 線材が絡み合い、非常に複雑な導体構造となるため、導体内部の電磁現象が不明確である。また、交流用 HTS 撚り線導体に適した導体構造（HTS 線材の撚り線本数や線材サイズ、撚りピッチ長さ）が明らかではない。そこで、本課題では、新たに HTS 撚り線導体内を等価回路で表現する電流分布解析プログラムを開発し、交流用 HTS 導体の電流分布解析を行うことによって、交流用 HTS 撚り線導体に適した導体構造について検討する。さらに、解析プログラムから得られた結果を基に、HTS 撚り線導体を試作する。そして、試作した導体を用いて、通電試験を行い、提案する交流用 HTS 導体の有効性について検討する。以上の検討結果から、高周波大電流を通電できる低損失な交流用 HTS 導体に適した導体構造を明確にすることを研究目的とする。			



図 1 市販の HTS(REBCO)線材



図 2 銅素線を撚ったリッツ線

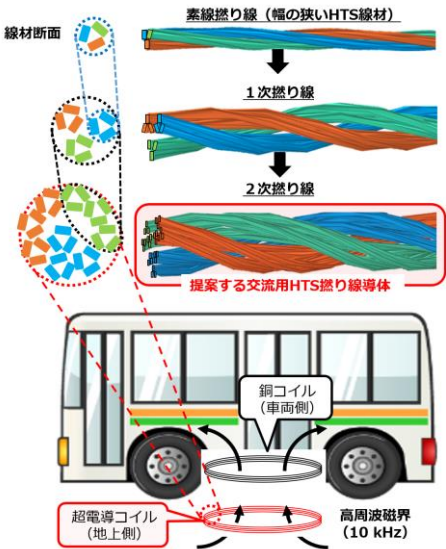


図 3 地上側に HTS コイルを適用した大容量非接触給電システム

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

① **交流用 HTS 撚り線導体の素線本数および線材サイズ、撚りピッチ長さの最適化**：提案する交流用 HTS 撚り線導体は、複数本の HTS 線材が絡み合い、非常に複雑な導体構造となるため、導体内部の電磁現象が不明確である。そこで、交流用 HTS 撚り線導体の最適な導体構造を明らかにするため、1 年目に開発した電流分布解析プログラムを用いて、素線本数および素線サイズ、撚りピッチ長さが導体内の電磁現象に及ぼす影響について検討した。解析結果の一例として、図 4 に 2 本の HTS 線材を撚ったシンプルな撚り線導体の素線軌跡および HTS 撚り線導体内部の電流分布を示す。図 4 の電流分布より、2 本の HTS 線間の距離を一定に保ちながら撚ることで、各線材間に均一な電流が流れることを明らかにした。なお、交流用 HTS 撚り線導体は、複雑な導体構造であるため、導体を構成するパラメータが非常に多い。そのため、申請時には解析用計算機を 1 台購入する予定であったが、複数の導体構造を効率良く計算するために、解析用計算機を 2 台購入した。

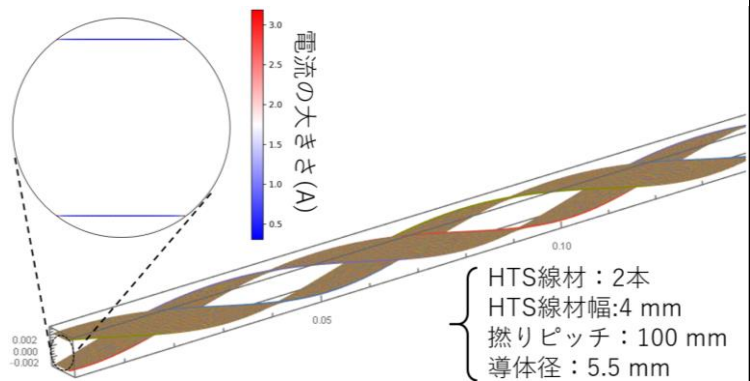


図 4 HTS 撚り線導体（2 本）の素線軌跡および電流分布線軌跡

② **交流用 HTS 撚り線導体の試作および性能評価**：提案する交流用 HTS 撚り線導体の性能を評価するために、交流用 HTS 撚り線導体を試作し、各素線に流れる電流分布および交流通電損失を測定した。図 5 に、2 本の HTS 線材を撚った交流用 HTS 撚り線導体の測定ステージおよび概念図を示す。また、試作した導体の諸元を表 1 に示す。ここで、試作した交流用 HTS 撚り線導体は、スパイラル状の巻枠に 2 本の HTS 線材を巻き付けることで製作した（スパイラル状の巻枠は、大学保有の 3D プリンタを用いて製作）。また、試作した交流用 HTS 撚り線導体の各素線に流れる電流を測定するために、撚り線導体の外部に「電流測定用ピックアップコイル」を製作した。なお、試作した導体の交流損失を測定する

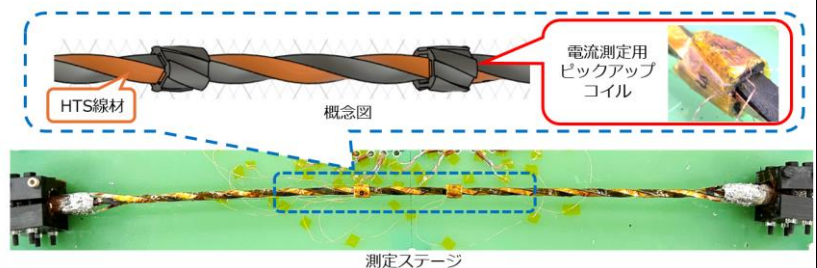


図 5 試作した交流用 HTS 撚り線導体の測定ステージおよび概念図

表 1 試作した交流用 HTS 撚り線導体の諸元

HTS線材幅 (mm)	4
HTS線材厚さ (μm)	74
撚りピッチ(mm)	100
導体長さ(mm)	600
導体径 (mm)	5.5
HTS線材の素線数	2

ために、銅ブロックの電極付近に電圧タップを半田付けした。図 6 に、試作した交流用 HTS 撚り線導体における各素線の電流の測定結果を示す（各素線に流れる電流を I1 および I2 と定義）。また、図 7 に、交流用 HTS 撚り線導体の交流通電損失の測定結果を示す。

図 6 より、試作した交流用 HTS 撚り線導体における各素線に流れる電流は偏流していることが確認された（片側の HTS 線材に電流が多く流れた： $I1 > I2$ ）。これは、超電導線材が非常に低損失であるため、僅かな HTS 線材の配置のずれにより、各素線のインダクタンス成分が異なったためと考えられる。したがって、更なる低損失な撚り線導体を製作するためには、各素線をスパイラル状の巻棒に巻き付ける際に、精度良く巻き付ける新たな手法が必要であることがわかった。また、図 7 より、試作した交流用 HTS 撚り線導体の交流通電損失の測定結果は、電流の約 2 乗で増加した。これは、

HTS 撚り線導体自身の交流損失に比べて、電極の銅ブロックの銅損や銅ブロックと HTS 線材の接触抵抗が大きいと考えられる。（HTS 線材の交流損失は電流の約 3 乗または 4 乗で増加し、銅ブロックの銅損や接触抵抗は電流の約 2 乗で増加することが知られている。電極付近に電圧タップを半田付けする交流損失測定手法では、電極の銅ブロックの銅損や接触抵抗が HTS 撚り線導体自身の交流損失に比べて支配的となった）。したがって、提案する HTS 撚り線導体は、交流損失の低損失化に有効であると考えられるものの、HTS 撚り線導体自身の正確な交流損失を測定するためには、今後、新たな交流損失測定手法（電極付近の銅損や接触抵抗を排除する測定手法）を確立する必要がある。なお、提案導体は素線数をさらに増やすことで（HTS 線材の撚る本数を増やすことで）、更なる交流損失の低損失化に期待できる。

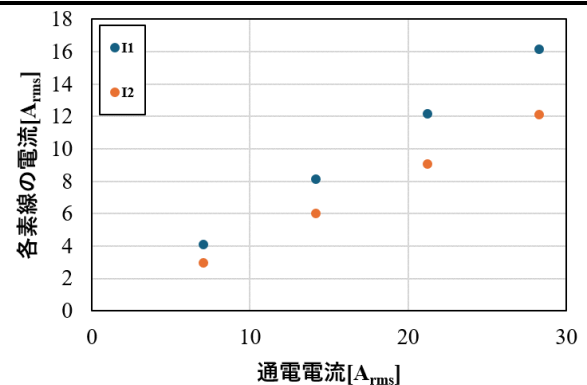


図 6 試作した交流用 HTS 撚り線導体における各素線の電流の測定結果

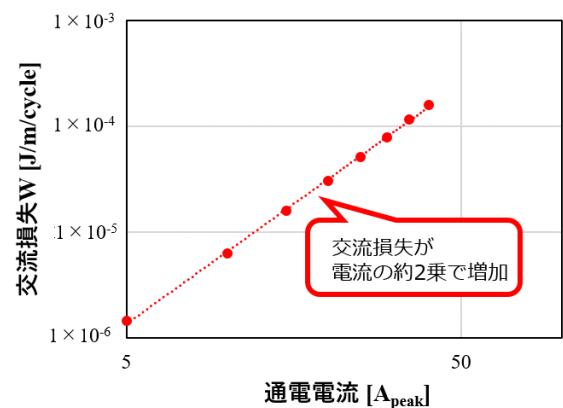


図 7 交流用 HTS 撚り線導体の交流通電損失の測定結果

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

提案する交流用 HTS 撚り線導体は、複雑な導体構造であり、導体を構成するパラメータが非常に多い。そのため、申請時には解析用計算機を 1 台購入する予定であったが、複数の導体構造を効率良く計算するために、解析用計算機を 2 台購入した。また、交流用 HTS 撚り線導体を試作するために、HTS 線材を購入した。購入した解析用計算機の台数が異なったものの、概ね研究計画書通りに研究を遂行した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究の成果から、提案する HTS 撚り線導体は、交流損失の低損失化に有効であると考えられるものの、HTS 撚り線導体自身の正確な交流損失を測定するためには、今後、新たな交流損失測定手法（電極付近の銅損を排除する測定手法）を確立する必要があることがわかった。今後は、長尺の提案導体で HTS コイルを作製することで、超電導非接触給電システムの効率評価を行う予定である。なお、提案導体は素線数をさらに増やすことで（HTS 線材の撚る本数を増やすことで）、更なる交流損失の低損失化に期待できる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

本研究の成果は、第 112 回（2026 年秋季）低温工学・超電導学会研究発表会（2026 年 12 月 8 日—10 日）で報告予定である。